FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 1998. március 20-21.

Csipesz típusú mikromegfogók

Mihálcz István, Valenta László, Liszka Levente

Abstract: Nowadays the preparation of the microgrippers, being capable to mount micro-size parts of an micromechanic assembly, becomes very essential due to the increasing importance of the micromechanics. In this paper the authors presents two basic type of microgrippers driver mechanism – two actuator: the piezo actuator and the shape memory alloy wire actuator.

Bevezetés

Jelenleg sok szakterületen, mint például az elektronikában, a mikro- vagy nanomechanikában, a miniatürizálás a divat. Ennek fizikai okai vannak, növelhető a működési sebesség, változik a felület/térfogat arány stb. A gyártásban egyre égetőbb problémaként jelentkezik a miniatűr alkatrészek kezelése. Ilyen probléma például az elektronikában a felületszerelt áramkörök (SMD=Surface Mounting Device) megfogása, pozicionálása, esetleg megmunkálása. A miniatűr alkatrészek egy újfajta kezelési technikát igényelnek, hagyományos módon nem kezelhetők. Ezen feladatok elvégzésére másféle fizikai elven, a miniatűr méretekhez jobban igazodó szerkezetek és megoldások szükségesek. Jelen dolgozatban a szerzők a csipesz típusú miniatűr megfogók tervezésének főbb lépéseit ismertetik.

Mikromegfogók

A hagyományos csipesz típusú megfogók oda-vissza mozgó képességgel rendelkeznek és nagy fogópontosságuk van. Általában egy szabadságfokkal rendelkeznek. A mikromegfogók kinematikája ugyanaz, mint a hagyományos megfogóké, csak a méretek kisebbek. A hagyományos megfogók egyik hátránya, hogy nagy a szerkezetük játéka, ami határt szab a miniatürizálásnak és a pontosságnak [6]. Ezért kerültek kifejlesztésre az alakzáró csuklók, amelyek a szűk mozgástartomány ellenére nagy pontossággal rendelkeznek. Az 1. ábrán egy piezokristállyal, a 2. ábrán alakemlékező fémötvözetrel

működtetett mikromegfogó látható. A csipesz típusú megfogóknak kinematikai szempontból három alapvető típusuk van: olló típusú, lengő és párhuzamos. Mikromegfogók esetében konstrukciós okokból ezek közül csak a lengő (lásd 2. ábra) és a párhuzamos típusú megfogót (lásd 1. ábra) használják. A csipesz típusú mikromegfogók anyaga általában szilícium, de készülhet poli-oxi-metilénből.

1. ábra

2. ábra

Ezeket a megfogókat egy úgynevezett LIGA (Lithographie-Galvanik-Abformung = litográfia-galvanizálás-formázás) technológiával állítják elő, amely kis mértékben hasonlít az integrált áramkörök gyártásánál használt technológiához.

Működtetők (aktuátorok):

Mikromegfogók működtetésére leggyakrabban piezoelektromos átalakítót alkalmaznak, de jelentek meg más fizikai elvet használó aktuátorok is. A továbbiakban a két legjelentősebb típust ismertetjük, a piezoelektromos átalakítót és az alakemlékező fémötvözetet.

Piezoelektromos átalakító:

Ez a típusú aktuátor mechanikai feszültség hatására elektromos töltést hoz létre és ez az energiaátalakítási folyamat megfordítható. A piezokristály működését két alapegyenlettel lehet leírni:

$$\sigma = Y d - \epsilon E$$

$$D = \epsilon E + k_1 d$$

amelyekben σ a mechanikai feszültség, Y a rugalmassági modulus, d az alakváltozás, ϵ a permittivitás, D az elektromos fluxus sűrűsége (eltolás), k_1 a kristály piezoelektromos állandója. Megfigyelhető a fenti egyenletrendszerből, hogy σ mechanikai terhelés nélkül is létrejöhét d deformáció E villamos tér hatására, és fordítva. A piezokristálynak két fontos jellemzője van, a csatolási tényező és a mechanikai jósági tényező. A csatolási tényező az átalakított és az átalakítandó energia hányadosának négyzetgyöke. Értékét a geometriai méretek és a hőmérséklet határozzák meg. A Curie-hőmérséklet fölött a piezoelektromos hatás ugyanis megszűnik, ezért ennek felén túli hőmérsékleten nem érdemes használni. A kristály deformációja estén az energia nagy része rugalmassági energia formájában tárolódik, a maradék viszont a molekuláris súrlódás következtében hővé alakul. Ennek az aránynak a kifejezője a mechanikai jósági tényező. Értéke függ a kristály impedanciájától, a geometriai méretektől, a hőmérséklettől és a kristály kapacitásától. A piezoelektromos aktuátorokat nagy feszültséggel gerjesztik

(100-1000V/30-5000Hz), a keletkezett alakváltozás mikrométer nagyságrendű. Ezért, ahol nagy elmozdulás szükséges, sorba szokták kapcsolni az alakváltozás összegzéséért, úgy, hogy minden másodiknak a gerjesztése el van tolva 180°-kal. Egy másik módszer az elmozdulás növelésére a mechanikus erősítő alkalmazása.

Alakemlékező fémötvözet:

Az alakemlékező ötvözetek (Shape Memory Alloy = SMA) a fémeknek egy olyan csoportját alkotják, amelyek hő hatására, egy kritikus hőmérséklet fölött, képesek "emlékezni" előző alakjukra. Általában alacsony hőmérsékleten ezek az anyagok nagyon hajlékonyak, plasztikusak (ekkor martenzites szerkezetük van), felmelegítve azonban visszanyerik eredeti alakjukat (ekkor ausztenites szerkezetűek). Mikroaktuátorok esetében nem az alakemlékező hatást, hanem az ötvözet egy másik tulajdonságát használják fel, mégpedig azt, hogy hőmérséklet növekedésének hatására az ötvözet térfogata csökken, huzal esetében a hossza rövidül. Az összehúzódás mértéke 5-8%. Az átalakulás histerézissel jár, ami NiTi ötvözet esetében 25°C. Az SMA egyenlete a következő alakban írható fel [1]:

$$\sigma = (\xi \cdot Y_M + (1 - \xi) Y_A) \cdot (\varepsilon - \varepsilon_L \cdot \xi_S) + \Theta \cdot (T - T_0)$$

ξ a martenzittartalom, ε az összehúzódás (rövidülés) mértéke, Θ a hőmérséklet-tenzor, T a hőmérséklet. Az alsó indexben szereplő betűk jelentése: **M** a martenzites állapot, **A** az ausztenites állapot, **L** és **S** a kezdeti állapotok, **0** a környezet. Az SMA huzalokat legegyszerűbben áramgenerátorral szokták felhevíteni 80-90 °C-ra [2]. A tapasztalat azt mutatja, hogy míg a felhevítési idő egyszerűen lecsökkenthető a huzal kapcsaira adott elektromos feszültség, vagy a huzalon átfolyó áram növelésével (vigyázni kell, nehogy túlhevüljön a huzal!). A huzalok hűtése nagy problémát okoz, mert általában nagy a lehűlési idő. Ez vékony huzaloknál még elfogadható (0.025 mm átmérőjű huzalnál 0.1 másodperc, 0.1 mm átmérőjű huzalnál már 0.8 másodperc). Ezt erőltetett hűtéssel szokták megoldani: hűtőgáz vagy hűtőfolyadék áramoltatásával a huzal körül vagy Peltier elemekkel. A tervezésnél, mint látható, figyelembe kell venni a környezet hőmérsékletét és páratartalmát, mert ez befolyásolja a huzal hőátadási tényezőjét. Az alakemlékező fémeknek van egy másik hátránya is, az, hogy hatásfokuk kicsi, mindössze 4-8%. Feltevődik a kérdés, hogy akkor miért alkalmazzák? Azért, mert megbízható, működése csendes, nem igényel más mechanikus elemeket lineáris mozgás megvalósítására és a teljesítmény/térfogat arány a 10^{-3} - 10 mm^3 tartományban ennél az aktuátornál a legnagyobb a többi mikroaktuátorhoz képest.

A rugalmas csuklók tervezése

A következő ábrán (3.a.) egy szilíciumból készített lengőmegfogót láthatunk. Jól megfigyelhető a csuklóknál a keresztmetszet-csökkenés, ugyanis ezen a helyen lesz képes a megfogó anyaga az alakváltozásra. Ezzel a

megoldással egyazon anyagból van az egész megfogó és minden csuklónak van egy járulékos rugóállandója (ez jól látható a megfogó kinematikus 3.b ábráján). Egy ilyen rugalmas csukló képét mutatja be a 4. ábra. A következőkben egy egyszerű számítási módszert mutatunk be mikrocuklók

számítására. Feltételezzük, hogy a csuklóra hat egy M nyomaték. Ennek hatására egy $\delta\theta$ elfordulás jön létre. Felírható a következő összefüggés:

$$M = k \cdot \delta\theta$$

A rugómerevség közelítő értéke [3,4]:
$$k = \frac{2 E b t^{\frac{1}{2}}}{9 \pi r^{\frac{5}{2}}}$$

ahol E a rugalmassági modulus, b a csukló szélessége, r a csukló sugara, t a minimális csuklóvastagság.

A következő problémák adódnak a mikrocuklók anyagának kiválasztásánál:

- a szilíciumból készült csukló a LIGA technikával jól megmunkálható, nagyon kis méretekben elkészíthető, de nagyon rideg anyag. Kevés megfogást lehet vele végezni, mert eltörik,
- más fém vagy anyag alkalmazása esetén mikro méretekben már nem képezhetők ki olyan pontosan a csuklók, de viszont ezek sokkal rugalmasabbak.

Ezért fogalmazódott meg az az elképzelés, hogy a mikromegfogót szilíciumból, a csuklókat meg más anyagból kéne megvalósítani. Ebben az irányban jelenleg is folynak a kutatások a tanszéken.

Bibliográfia

1. Mihálcz István, „Alakemlékező fémötvözetek bemutatása”, microCAD'97, Miskolc 1997 febr. 26-27, Vol. J, 61-66 oldalak.
2. Mihálcz István, „New Shape Memory Alloy Power Circuits” - RAAD'97 Cassino, Italy, 1997 jun. 26-28, 459-462 oldalak.
3. J.M. Paros and L. Weisbord, „How to Design Flexure Hinges”, Machine Design, Vol. 37, pp.151-156, 1965.
4. Riad Salim, Helmut Wurm, „Kleinste Objekte im Griff”, F&M, Vol. 104, Nr. 9, pp. 637- 640, 1996.
5. Valenta László, Szűcs László, „Csipesz alakú megfogók problematikája kis méretű hengeres alkatrészek esetén”, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka II., Kolossvár 1997 márc. 21-23, 117-120 oldalak, ISBN 973-98092-2-7.
6. Valenta László, „Construction possibilities of microgrippers”, 19th International Spring Seminars on Electronics Technology, Göd 1996 május 21-25, 150-153 oldalak.

Mihálcz István, Liszka Levente, Valenta László: okleveles gépészmérnökök, doktorandusz hallgatók, Budapesti Műszaki Egyetem, Finommechanikai és Optikai Tanszék, H-1521 Budapest, Pf. 91.; Tel: (..36-1) 463-2088, Fax: (..36-1) 463-3787, E-mail: mihalcz@fot.bme.hu, valenta@fot.bme.hu, liszka@fot.bme.hu